

Berichte aus dem Laboratorium für Werkstoff- und Füge­technik

Band 123

**Ortwin Hahn  
Martin Bergau**

**Qualifizierung des Vollstanznietklebens  
von dreilagigen Mischbauverbindungen  
mit Vergütungsstählen**

D 466 (Diss. Universität Paderborn)

Shaker Verlag  
Aachen 2017

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Paderborn, Univ., Diss., 2016

Copyright Shaker Verlag 2017

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-5070-7

ISSN 1434-6915

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

Teile dieser Arbeit sind in folgenden Veröffentlichungen erschienen:

Meschut, G.; Hahn, O.; Bergau, M.: *Vollstanznietkleben von dreilagigen Mischbaustrukturen*. FOSTA-Projekt P 877 / IGF-Nr. 16820 N, Tagungsband. 1. Fügetechnisches Gemeinschaftskolloquium 2011, 06.-07.12.2011 Garbsen

Meschut, G.; Hahn, O.; Bergau, M.: *Vollstanznietkleben von dreilagigen Mischbaustrukturen*. FOSTA-Projekt P 877 / IGF-Nr. 16820 N, Tagungsband. 2. Fügetechnisches Gemeinschaftskolloquium 2012, 04.-05.12.2012, Paderborn

Meschut, G.; Hahn, O.; Bergau, M.: *Vollstanznietkleben von dreilagigen Mischbaustrukturen*. FOSTA-Projekt P 877 / IGF-Nr. 16820 N, Tagungsband. 12. Kolloquium Gemeinsame Forschung in der Klebtechnik. 28.-29.02.2012, Frankfurt am Main.

Hahn, O.; Meschut, G.; Bergau, M.; Matzke, M.: *Self-pierce riveting an hybrid joinig of boron steels in multi-material and multi-sheet joints*. International Conference on Manufacture of Lightweight Components – Manulight 2014. 03.-04.04.2014, Dortmund. [online] verfügbar unter: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)



## Kurzfassung

Zukunftsweisende Leichtbauweisen in der Automobilindustrie beruhen auf einem ausgewogenen Materialmix, wobei in crashrelevanten Bereichen höchstfeste Warmformstähle und in weniger stark beanspruchten Bereichen Aluminiumwerkstoffe sinnvoll miteinander kombiniert werden können. Für eine Umsetzung in Großserien ist eine Füge-technologie entscheidend, die technologisch geeignet ist und gleichzeitig wirtschaftlich einsetzbar ist.

Diese Arbeit verfolgt das Ziel, dreilagige Mischverbindungen aus pressharten Warmformstählen in Kombination mit Aluminiumwerkstoffen mittels Vollstanznietkleben für die praktische Anwendung zu qualifizieren. Dazu wurde der elementare Vollstanznietprozess analysiert, um verfahrensspezifische Eigenschaften und deren Auswirkungen auf die Verbindungsausbildung im Hinblick auf fügeteilbedingte Einflussfaktoren aufzeigen und bewerten zu können. Auf Basis dieser Ergebnisse wurde für den Hybridfügeprozess anhand der Ausgangssituation der Optimierungsbedarf aufgezeigt und durch eine Anpassung der Prozessparameter sowie eine Werkzeugweiterentwicklung umgesetzt. Die Wirksamkeit der durchgeführten Maßnahmen wurde durch Festigkeitsuntersuchungen unter verschiedenen Beanspruchungsarten aufgezeigt. Abschließend wurden die Ergebnisse mit Handlungsempfehlungen für die Konstruktion und Fertigung von vollstanznietgeklebten Mehrlagenverbindungen zusammengefasst.



## **Abstract**

Advanced and future lightweight designs in the automotive industry are based on a balanced mix of materials. Combinations of quenchable high-strength steels in crash-relevant areas with modern aluminum alloys in low claimed areas realize affordable lightweight multi-material car bodies. For the implementation in large-scale production a technologically suitable and economical joining technology is crucial.

The aim of this thesis is to validate triple layer mixing compounds from presshardened steels in combination with aluminum materials by adhesive bonding in addition to solid self-pierce riveting for industrial application. For this purpose, the elementary process of solid self-pierce riveting was analyzed to classify process-specific characteristics and to evaluate their influence on the joint formation. Based on these results generated with the initial situation the need for improvement of the hybrid joining process has been identified and optimizations were implemented by adjusting the process parameters and by the development of advanced tools. The effectiveness of the taken measures was demonstrated by strength tests under different types of loads. Finally, the results were summarized with recommendations for the design and production of multi-layer compounds joined by solid self-pierce riveting and adhesive bonding.



# Inhaltsverzeichnis

<b>Verwendete Formelzeichen und Abkürzungen .....</b>	<b>iv</b>
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Stand der Technik .....</b>	<b>3</b>
2.1 Leichtbauwerkstoffe in der Karosseriefertigung .....	3
2.2 Fügeverfahren für Mischbauweisen mit höherfesten Stahlwerkstoffen .....	4
2.2.1 Klebtechnisches Fügen .....	7
2.2.2 Mechanisches Fügen mittels Vollstanzniet .....	9
2.2.3 Hybridfügen .....	17
<b>3. Problemstellung und Zielsetzung .....</b>	<b>19</b>
<b>4. Versuchsrandbedingungen .....</b>	<b>21</b>
4.1 Verwendete Fügeteilwerkstoffe .....	21
4.2 Verwendetes Klebstoffsystem .....	21
4.3 Prüfkörper .....	23
4.3.1 Bemusterungsprobe .....	23
4.3.2 Dreilagige Einpunktscherzugprobe .....	24
4.3.3 Dreilagige Mehrpunktprobe .....	24
4.4 Klebstoffapplikation .....	25
4.5 Fügen mittels Vollstanznieten .....	26
4.5.1 Verwendete Vollstanznietelemente .....	26
4.5.2 Verwendete Anlagentechnik .....	27
4.6 Prüfeinrichtungen und Prüfverfahren .....	28
4.6.1 Messung der Probendeformation .....	28
4.6.2 Quasistatische Zugprüfung .....	31
4.6.3 Dynamisch schlagartige Zugprüfung .....	32
4.6.4 Dynamisch zyklische Prüfung .....	32

<b>5. Analyse des elementaren Vollstanznietprozesses .....</b>	<b>34</b>
5.1 Vorgehensweise .....	34
5.2 Einfluss der Fügeeteilordnung auf die Verbindungsausbildung .....	36
5.3 Untersuchung von Materialeinzügen und Stanzbutzenresten im Verbindungsbereich .....	38
5.4 Optimierung der Verbindungsausbildung mittels modifizierter Matrizengeometrie .....	49
5.5 Bewertung der Fügeiteildeformation .....	50
5.6 Optimierungsansätze zur Reduzierung der Materialdeformation .....	52
<b>6. Untersuchungen zum Vollstanznietkleben .....</b>	<b>54</b>
6.1 Einfluss des Klebstoffs auf die Verbindungsausbildung der Vollstanznietverbindung .....	55
6.2 Einfluss des Klebstoffs auf die Fügeiteildeformation .....	56
6.2.1 Untersuchung der Fügeflanschdeformation über die Überlappungslänge .....	57
6.2.2 Einfluss der Fügewerkzeuge anhand elementar- und hybridgefügter Vollstanznietverbindungen .....	58
6.2.3 Einfluss der Klebstoffmenge auf die Materialdeformation .....	61
6.3 Untersuchung des Tragverhaltens der Verbindungen .....	63
6.3.1 Einfluss der Lastführung auf das Tragverhalten der Verbindungen .....	63
6.3.2 Tragverhalten unter quasistatischer Scherzuglast .....	64
<b>7. Verfahrensoptimierung des Vollstanznietklebprozesses .....</b>	<b>70</b>
7.1 Ermittlung des Optimierungspotentials .....	70
7.2 Entwicklung eines modifizierten Werkzeugkonzeptes .....	70
7.3 Bewertung der modifizierten Werkzeuge an elementar gefügten Vollstanznietverbindungen .....	72
7.4 Einfluss von Klebstoff auf die Fügeiteildeformation und die Verbindungsfestigkeit .....	74
7.5 Quervergleich zum Vollstanznietkleben mit mehrteiligem Matrizenkonzept .....	84
7.6 Untersuchung des Einsatzbereichs des optimierten Werkzeugsatzes .....	87
<b>8. Ermittlung des Tragverhaltens unter dynamischer Belastung .....</b>	<b>92</b>

---

8.1	Tragfähigkeit bei schlagartiger Lasteinleitung .....	92
8.2	Tragfähigkeit bei schwingender Lasteinleitung .....	96
<b>9.</b>	<b>Handlungsempfehlungen zum Vollstanznietkleben dreilagiger Verbindungen mit warmgeformten Stählen .....</b>	<b>100</b>
<b>10.</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>106</b>
<b>11.</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>109</b>

## Verwendete Formelzeichen und Abkürzungen

### Abkürzungen

Abkürzung	Benennung
KSM	Keilschiebermatrize
MBN	Mehrbereichsvollstanzniet
mod	Modifiziert
MUN	Massivumgeformter Vollstanzniet
n	Probenanzahl je Prüfserie
Nx/Mx z.B. N12/M14	Werkzeugsatz: Niederhalteraußendurchmesser x mm /Matrizenaußendurchmesser x mm
NKE	Nietkopfdlage
VSN	Vollstanzniet / Vollstanznieten

### Formelzeichen

Formelzeichen	Benennung	Dimension
a	Fugendicke	mm
b	Breite	mm
tan ( $\gamma$ )	Gleitung	%
d <sub>k</sub>	Klebschichtdicke	mm
d <sub>M,a</sub>	Matrizenaußendurchmesser	mm
d <sub>M,s</sub>	Schneidkantendurchmesser, Matrize	mm
d <sub>N</sub>	Niederhalteraußendurchmesser	mm

$D_{p,a}$	Prägeringdurchmesser	mm
$D_{p,i}$	Prägeringinnendurchmesser	mm
$\tan(\delta)$	Verlustfaktor	-
$E'$	Speichermodul	MPa
$f$	Frequenz	Hz
$F_{\max}$	Maximalkraft	kN
$F_{m,\max}$	Arithmetisch gemittelte Maximalkraft	kN
$F_S$	Stanzkraft	kN
$F_P$	Prägekraft	kN
$H_{1,L}$	Spalt, Oberlage, links	mm
$H_{1,R}$	Spalt, Oberlage, rechts	mm
$H_{2,L}$	Spalt, Unterlage, links	mm
$H_{2,R}$	Spalt, Unterlage, rechts	mm
$H_P$	Prägeringhöhe	mm
$HS_L$	Hinterschnitt, links	mm
$HS_R$	Hinterschnitt, rechts	mm
$l$	Länge	mm
$L_{\bar{U}}$	Überlappungslänge	mm
$M_A$	Matrizenaußendurchmesser	mm
$M_i$	Staukantendurchmesser (Matrizeninnendurchmesser)	mm
$P_H$	Eindringtiefe Prägering	mm
$t$	Blechdicke	mm
$\tau$	Schubspannung	MPa
$V_K$	Klebstoffvolumen pro Längeneinheit	mm <sup>3</sup> /m